



# **SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA EXPERIMENTOS DE INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO VIA PYTHON**

**BRUNO MARTINS SIQUEIRA CASARIN**

Araguaína, TO

2022

**BRUNO MARTINS SIQUEIRA CASARIN**

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA EXPERIMENTOS DE  
INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO VIA PYTHON**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(a): Dr. Luís Antônio Cabral  
Coorientador(a): Dra. Pâmella Gonçalves Barreto Tronção

Araguaína, TO

2022

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Página Inicial do Python . . . . .	9
Figura 2 – Tela para escolha do tipo de instalação que o usuário deseja realizar . . . . .	10
Figura 3 – Configuração bem sucedida . . . . .	10
Figura 4 – Instalação biblioteca matplotlib . . . . .	10
Figura 5 – Tela inicial Jupyter Notebook . . . . .	12
Figura 6 – Algoritmo - Difração fenda simples . . . . .	12
Figura 7 – Algoritmo - Interferência fenda dupla . . . . .	13
Figura 8 – Algoritmo - Interferência fenda dupla . . . . .	13
Figura 9 – Interferência ondulatória . . . . .	15
Figura 10 – Princípio de Huygens-Fresnel . . . . .	16
Figura 11 – Análise de difração fenda simples . . . . .	17
Figura 12 – Interferência destrutiva dos raios $r_1$ e $r_2$ no ponto $P_1$ . . . . .	17
Figura 13 – Curva de intensidade luminosa fenda simples . . . . .	18
Figura 14 – Experimento dupla fenda de Young . . . . .	19
Figura 15 – A interferência das ondas que saem das fendas $S_1$ e $S_2$ é causada pela mudança na diferença de fase devido à diferença de caminho $r_1 - r_2$ . . . . .	20
Figura 16 – Padrão de interferência da luz por fenda dupla . . . . .	21
Figura 17 – Padrão de difração da luz por fenda dupla . . . . .	22
Figura 18 – Gráfico para função de movimento uniforme . . . . .	25
Figura 19 – Gráfico de função periódica . . . . .	26
Figura 20 – Comparação entre as curvas de intensidade . . . . .	27
Figura 21 – Compilação do algoritmo no ambiente Jupyter Notebook . . . . .	29
Figura 22 – Gráfico de simulação do experimento com fenda simples de largura 0,1 mm. . . . .	30
Figura 23 – Padrão de difração gerado em experimento com fenda simples de largura 0,1 mm. . . . .	31
Figura 24 – Gráfico de simulação do experimento com fenda simples de largura 0,2 mm. . . . .	31
Figura 25 – Padrão de difração gerado em experimento com fenda simples de largura 0,2 mm. . . . .	31
Figura 26 – Gráfico de simulação do experimento com fenda simples de largura 0,3 mm. . . . .	32
Figura 27 – Padrão de difração gerado em experimento com fenda simples de largura 0,3 mm. . . . .	32
Figura 28 – Gráfico de simulação do experimento com fenda dupla de largura 0,2 mm e distância 0,2 mm entre elas. . . . .	33
Figura 29 – Padrão de difração gerado em experimento com duas fendas de largura 0,2 mm e distância de 0,2 mm entre elas . . . . .	33

Figura 30 – Gráfico de simulação do experimento com fenda dupla de largura 0,2 mm e distância 0,4 mm entre elas. . . . .	34
Figura 31 – Padrão de difração gerado em experimento com duas fendas de largura 0,2 mm e distância de 0,4 mm entre elas . . . . .	34

# Sumário

<b>1</b>	<b>Apresentação</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Python e Jupyter Notebook</b>	<b>8</b>
2.1	Python uma linguagem de programação	8
2.1.1	Instalando o Python	9
2.1.2	Instalando as bibliotecas necessárias com o pip	10
2.2	Ambiente de programação Jupyter Notebook	11
2.2.1	Instalando o Jupyter Notebook	11
2.3	Algoritmos de interface gráfica - Experimento de difração e interferência	12
2.3.1	Difração - Fenda Simples	12
2.3.2	Interferência - Fenda Dupla	13
2.3.3	Difração - Fenda Dupla	13
<b>3</b>	<b>Interferência e difração na sala de aula do ensino médio</b>	<b>14</b>
3.1	Interferência e difração	14
3.2	Difração - fenda simples	16
3.3	Interferência - fenda dupla	19
3.4	Difração - fenda dupla	22
<b>4</b>	<b>Metodologia de aplicação</b>	<b>23</b>
4.1	Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e as TDICs	23
4.2	Sequência Didática	24
4.3	Executando o software	26
<b>5</b>	<b>Interfaces geradas pelo software</b>	<b>30</b>
5.1	Fenda simples	30
5.2	Fenda dupla	32
<b>6</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>35</b>
	<b>Referências</b>	<b>36</b>
	<b>Apêndices</b>	<b>38</b>
	<b>APÊNDICE A CÓDIGOS PARA OFICINA DE GRÁFICOS EM PYTHON</b>	<b>39</b>

A.1	Uma partícula em movimento uniforme . . . . .	39
A.2	Uma partícula em movimento oscilatório . . . . .	39
<b>APÊNDICE B ALGORITMO DE EXECUÇÃO DO SOFTWARE . . . . .</b>		<b>40</b>
B.1	Difração fenda simples . . . . .	40
B.2	Difração fenda dupla . . . . .	40
<b>APÊNDICE C QUESTIONÁRIO DE VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM . .</b>		<b>42</b>

# 1

## Apresentação

O produto educacional trata-se de uma ferramenta computacional desenvolvida por meio da linguagem de programação *Python* no ambiente de programação *Jupyter Notebook*, afim de gerar a possibilidade do professor incluir as Tecnologia Digitais da Informação e Comunicação (TDCIs) no ambiente escolar com objetivo de proporcionar aprendizagem potencialmente significativa. Essa ferramenta refere-se a um *software* capaz de reproduzir os experimentos de difração e ou interferência da luz, tema discutido de maneira bem superficial na ambiente escolar, pela dificuldade de reproduzir o experimento de forma física e complexabilidade de explicar para os alunos por meio de cálculos matemáticos.

Nesse aspecto, o produto educacional torna-se uma ferramenta facilitadora para o ensino e aprendizagem da óptica ondulatória, propondo a inclusão de temas mais contemporâneos da Física no Ensino corroborando com o que é proposto pela BNCC.

As atividades propostas para que o produto seja utilizado estão organizadas da seguinte forma; Python e Jupyter Notebook, Interferência e difração na sala de aula do ensino médio, Metodologia de aplicação, Interfaces geradas pelo software e Considerações finais.

O capítulo 02 explica o que é o Python e o Jupyter Notebook, evidenciando como realizar a instalação dos mesmos, ou seja, trata-se de um tutorial para o professor realizar a instalação. Além disso, é ilustrado por meio das figuras os códigos para reproduzir cada experimento, assim o professor pode conferir cada linha de comando caso ocorra algum erro, no momento da aplicação do produto.

O capítulo 03 apresenta ao professor um apoio teórico dos fenômenos de interferência e difração da luz ministrados no ensino médio.

No Capítulo 04 é proposto a sequência didática atrelada a teoria de aprendizagem significativa como organizador prévio do conhecimento, para posteriormente realizar a aplicação do produto.

O capítulo 05 dispõe de algumas interfaces gráficas da curva de intensidade luminosa geradas pelo *software*, realizando uma comparação dessas interfaces com as figuras de difração obtidas experimentalmente. A partir dos resultados o professor poderá compreender como discutir os parâmetros Físicos envolvidos com os alunos.

No capítulo 06 é apresentado o que se espera do produto educacional para melhorar o Ensino de Física.

# 2

## Python e Jupyter Notebook

### 2.1 Python uma linguagem de programação

Python é uma linguagem de programação interpretada, orientada a objetos e de alto nível, com semântica dinâmica ([PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, 2022](#)). Apesar de ser uma linguagem poderosa, possui uma construção simples e intuitiva.

Foi criada por Guido Van Rossum em 1991 com o objetivo principal de ter alta produtividade e legibilidade. As características da linguagem que sinalizam esses objetivos são, o baixo uso de caracteres especiais, o que torna a linguagem muito parecida com pseudo-código executável, o uso de indentação para marcar blocos, quase nenhum uso de palavras-chave voltadas para a compilação, coletor de lixo para gerenciar automaticamente o uso da memória. Além disso, Python suporta múltiplos paradigmas de programação. A programação procedimental pode ser usada para programas simples e rápidos, mas estruturas de dados complexas, como tuplas, listas e dicionários, estão disponíveis para facilitar o desenvolvimento de algoritmos complexos ([PYSCIENCE BRASIL, 2022](#)).

Python tem uma biblioteca padrão imensa, que contém classes, métodos e funções para realizar essencialmente qualquer tarefa, desde acesso a bancos de dados a interfaces gráficas com o usuário. Por fim, e não menos importante, Python é uma linguagem livre e multiplataforma. Isso significa que os programas escritos em uma plataforma serão executados sem nenhum problema na maioria das plataformas existentes sem nenhuma modificação. E, caso a plataforma não tenha uma versão de Python, desenvolvedores têm a liberdade de estudar e modificar o código da linguagem para fazer com que ela rode onde quer que seja ([PYSCIENCE BRASIL, 2022](#)).

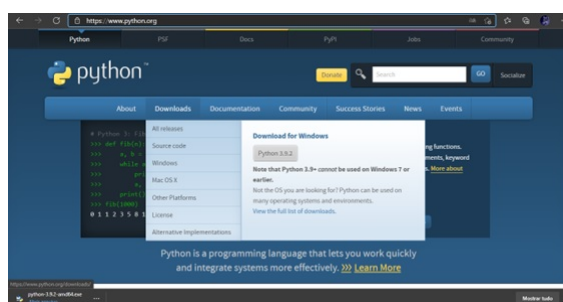
Apesar de não ser atual, essa linguagem de programação (Python) está em uso há 31 anos em demasia, sua popularidade se deve ao fato de ser extremamente funcional e estrategista, auxiliando o pesquisador na colheita de frutos exímios. Todavia, trabalhar com Python exige o uso de determinadas bibliotecas, são elas: 1- NumPy (Numeral Python), a qual possui objetos

chamados de matrizes multidimensionais e rotinas para processamento das mesmas, favorecendo assim, a fácil execução de cálculos numéricos. 2- Matplotlib, a segunda e, muito popular, é amplamente utilizada por se tratar de uma biblioteca que possibilita a concepção de gráficos em duas e três dimensões, gerando uma melhor visualização de dados se tratando de vendas, consumo mensal, análise de estatísticas, etc. Onde quero chegar? é menos trabalhosa a leitura de dados expostos em gráficos comparada aos mesmos quando colocados em planilhas do excel. Para a utilizar essa rica e vasta ferramenta, Python e suas bibliotecas, é preciso instalá-las. Para melhor entendimento, abaixo se encontra um passo a passo de cada uma delas (DEMINGOS, 2019).

### 2.1.1 Instalando o Python

Para instalação do Python vamos utilizar o site oficial da plataforma (<https://www.python.org>). A instalação é simples e está disponível para os principais sistemas operacionais, inclusive celulares e tablets . Porém, vamos mostrar a instalação para Windows, por ser o sistema operacional mais utilizado e disponível nas residências e nas escolas. Logo em seguida, passe o ponteiro do mouse em *Downloads* e após, faça o download clicando em Python 3.9.2 (versão mais recente no período do tutorial), como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Página Inicial do Python



Com o instalador do Python em seu computador, abra o arquivo que se localiza em *Downloads* no computador. Após abrir o arquivo Marque a caixinha Add Python 3.9 to PATH e faça a instalação apertando em Install Now. Como mostra a Figura 2.

Conceda a permissão para o instalador e iniciará a instalação. Alguns segundos e o Python será instalado, como mostra a Figura 3.

Desabilite o tamanho limite do caminho (Disable path length limit), para menores complicações no futuro em sua máquina. Pronto, Python instalado com sucesso!

No entanto, para utilizar o algoritmo desenvolvido neste trabalho é necessário incorporar no Python algumas bibliotecas. A instalação das mesmas é muito simples de se fazer com o *pip*, e será apresentado a seguir.

Figura 2 – Tela para escolha do tipo de instalação que o usuário deseja realizar

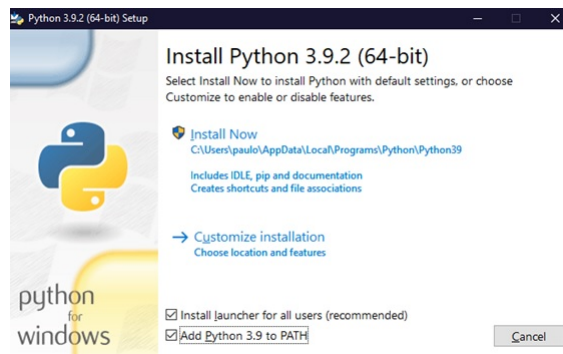
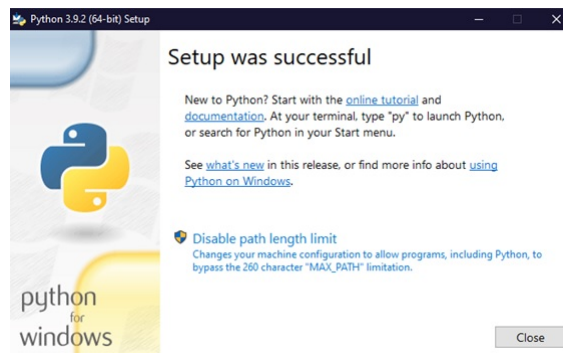


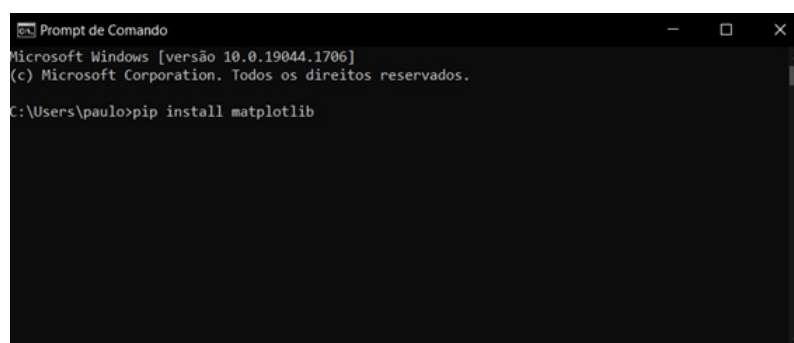
Figura 3 – Configuração bem sucedida



### 2.1.2 Instalando as bibliotecas necessárias com o pip

Vamos mostrar a instalação das bibliotecas *Sympy*, *Numpy* e *Matplotlib*, por serem as bibliotecas necessárias neste trabalho, mas o método apresentado, pode ser utilizado para instalação de outras bibliotecas que o usuário precisar em outros projetos. Para isso, abra seu prompt de comando, isso pode ser feito clicando no menu iniciar e pesquisando por cmd ou prompt de comando. Com o prompt de comando aberto execute o seguinte comando, ***pip install matplotlib***, aperte enter e a biblioteca será instalada, mostra a Figura 4.

Figura 4 – Instalação biblioteca matplotlib



Para instalar as outras (*Sympy*, *Numpy*) repita o processo trocando apenas o nome da

biblioteca, por exemplo, *pip install sympy*.

Agora seu Python estará apto para uma infinidade de aplicações que envolvam interface gráfica e outras. Para execução de um programa, o usuário pode escolher um dos vários editores que permitem a execução de programas em Python, porém neste trabalho utilizaremos o Jupyter Notebook.

## 2.2 Ambiente de programação Jupyter Notebook

O Projeto Jupyter, é um projeto de código aberto sem fins lucrativos, nascido do Projeto IPython em 2014, à medida que evoluiu para dar suporte à ciência de dados interativa e à computação científica em todas as linguagens de programação. O Jupyter sempre será um software 100% de código aberto, gratuito para todos usarem e lançado sob os termos liberais da licença BSD modificada. Jupyter é desenvolvido abertamente no GitHub, através do consenso da comunidade Jupyter ([PROJECT JUPYTER, 2022](#)).

No mundo da programação, estamos familiarizados com editores de textos ou IDEs que facilitam o trabalho da escrita de códigos. São inúmeros os softwares que podemos escolher que vão atender às necessidades. Com tudo, ao trabalhar com ciência de dados, utilizemos alguma dessas IDEs, já que a programação está fortemente ligada à área de ciência de dados. Tradicionalmente o código escrito em um único bloco com comentários ao longo do caminho, traz algumas desvantagens se comparado aos notebooks utilizados em projetos de ciência de dados ([JUPYTER NOTEBOOK, 2022](#)).

Um Notebook se parece com um caderno, onde será escrito uma história. Essa história é narrada em partes e segue um fluxo lógico, desde a introdução até a conclusão. Como os projetos de ciência de dados envolvem resolver um problema de negócio, precisamos escrever uma história com os objetivos, possíveis soluções do problema e a conclusão que chegamos através da exploração dos dados. O Jupyter Notebook é um ambiente que oferece essa abordagem de Notebooks, com um visual simples e muito fácil de utilizar ([JUPYTER NOTEBOOK, 2022](#)).

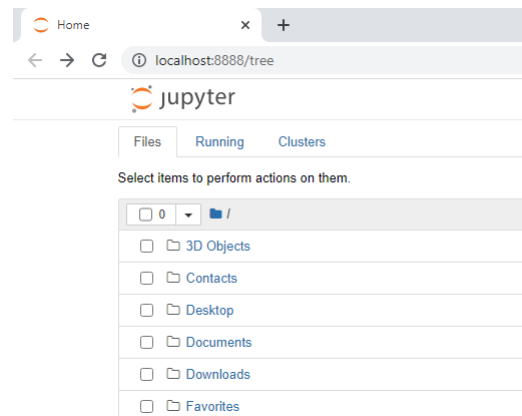
### 2.2.1 Instalando o Jupyter Notebook

Para instalar o Jupyter Notebook vamos realizar o mesmo procedimento feito na instalação das bibliotecas. Após abrir o cmd ou prompt de comando em seu computador execute o comando, *pip install jupyter*, aperte enter, e o Jupyter será instalado com sucesso.

Para abrir o Jupyter Notebook, realize o seguinte procedimento: abra o cmd ou prompt de comando, digite *jupyter notebook* e aperte enter. Após fazer isso abrirá uma guia no navegador contendo o Jupyter Notebook pronto pra o uso, como ilustra a Figura 5.

Após abrir o Jupyter ficará aberta uma janela do cmd ou prompt de comando em seu computador, *não feche essa janela* para que o funcionamento não seja interrompido.

Figura 5 – Tela inicial Jupyter Notebook



## 2.3 Algoritmos de interface gráfica - Experimento de difração e interferência

Agora vamos apresentar os códigos referentes a linguagem de programação em Python, que da origem ao algoritmo de desenvolvimento de interface gráfica para os experimentos de difração e interferência. Esse códigos devem ser inseridos no ambiente de programação Jupyter Notebook que já deve estar instalado no computador.

### 2.3.1 Difração - Fenda Simples

A Figura 6 demonstra o algoritmo desenvolvido para o experimento de difração fenda simples.

Figura 6 – Algoritmo - Difração fenda simples

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import sympy as sp
a = float(input('Largura da fenda (mm): '))
b = float(input('Comprimento de onda (nm): '))
D = float(input('Distância da fenda a tela de observação (m): '))
k = ((np.pi)*(a))*(1000)/(b*D)
x = np.linspace(-130,130,2000)
y = (np.sin(k*x))**2/(k*x)**2
plt.plot(x,y)
plt.xlabel('Distância (mm)')
plt.ylabel('Intensidade')
plt.title(f'Exemplo de Gráfico para {a} mm / {int(b)} nm / {D} m')
#plt.grid(True)
plt.show()
```

Fonte: O autor

### 2.3.2 Interferência - Fenda Dupla

A Figura 7 demonstra o algoritmo desenvolvido para o experimento de interferência fenda dupla de Young.

Figura 7 – Algoritmo - Interferência fenda dupla

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import sympy as sp
d = float(input('Distância entre as fendas (mm): '))
b = float(input('Comprimento de onda (nm): '))
D = float(input('Distância da fenda a tela de observação (m): '))
C = ((np.pi)*(2*d)*(1000))/(b*D)
x = np.linspace(-128,128,2000)
I = (4*((np.cos(C*x/2))**2))
plt.plot(x,I)
plt.xlabel('Distância (mm)')
plt.ylabel('Intensidade')
plt.title(f'Exemplo de Gráfico para {d} mm / {b} nm / {D} m')
#plt.grid(True)
plt.show()
```

Ativ

Fonte: O autor

### 2.3.3 Difração - Fenda Dupla

A Figura 8 demonstra o algoritmo desenvolvido para o experimento de difração e ou interferência fenda dupla com correção de Fraunhofer.

Figura 8 – Algoritmo - Interferência fenda dupla

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
a = float(input('Largura da fenda (mm): '))
b = float(input('Comprimento de onda (nm): '))
D = float(input('Distância da fenda a tela de observação (m): '))
d = float(input('Distância entre as fendas (mm): '))
k = ((np.pi)*(a))*(1000)/(b*D)
C = ((np.pi)*(2*d)*(1000))/(b*D)
x = np.linspace(-175,175,2000)
y = (4*((np.cos(C*x/2))**2))*(np.sin(k*x)**2/(k*x)**2)
plt.plot(x,y)
plt.xlabel('Distância (mm)')
plt.ylabel('Intensidade')
plt.title(f'Gráfico para {a} mm/ {d} mm/ {b} nm/ {D} m')
#plt.grid(True)
plt.show()
```

Ativ

Fonte: O autor

# 3

## Interferência e difração na sala de aula do ensino médio

Os conceitos físicos, na maioria das vezes, estão presentes em nosso cotidiano. Tendo em vista que, do simples caminhar de um ser humano até o funcionamento das redes de comunicação, tais conceitos estão inseridos. Assim, o ensino da FÍSICA torna-se relevante para que o indivíduo possa compreender o mundo ao seu redor. Portanto, os conceitos de difração e interferência da luz que contribuem bastante para o campo da física moderna, mesmo por que tais fenômenos não são restritos a luz, explicam diversas situações do cotidiano, com por exemplo, o fato de escutarmos atrás da porta (SOUSA; PIETROCOLA; UETA, 2007).

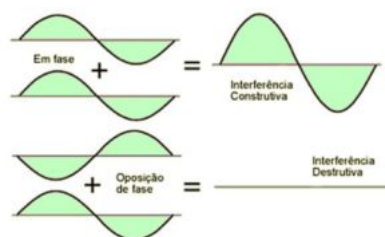
### 3.1 Interferência e difração

Os fenômenos de difração e interferência são estritamente ondulatórios, podendo ocorrer tanto nas ondas mecânicas quanto nas ondas eletromagnéticas, com isso tais fenômenos são observados para a luz, sinalizando sua natureza ondulatória. A interferência revela inúmeras situações observadas no cotidiano, como por exemplo as cores de interferência em películas finas, vistas mais facilmente em bolhas de sabão, além de proporcionar uma maneira de medir o comprimento de onda da luz e de outras radiações eletromagnéticas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). Os interferômetros são instrumentos que fazem uso do fenômeno de interferência possibilitando medir distâncias extremamente pequenas com muita precisão (HEWITT, 2015).

Do ponto de vista da óptica a interferência implica na inter-relação de duas ou mais ondas luminosas, dando origem a uma radiação resultante que pode variar de zero -interferência destrutiva, até a soma das componentes da irradiação -interferência totalmente construtiva. No entanto, a amplitude da irradiação resultante está ligada a diferença de fase das componentes das ondas em interação, em que ondas de mesma amplitude que se encontram em determinado ponto e em concordância de fase sofrem interferência totalmente construtiva, a posto que ondas

de mesma amplitude que se encontram em determinado ponto em discordância de fase sofrem interferência totalmente destrutiva (NEWTON, 2001). Na Figura 9 pode-se observar melhor um esquema simplificado do que fora dito.

Figura 9 – Interferência ondulatória



Fonte: (IPV7, 2022)

Portanto quando uma frente de onda atinge uma fenda é observado a formação de figuras de difração e ou interferência no anteparo, com regiões claras (máximos de intensidade luminosa) e escuras (mínimos de intensidade luminosa) alternadas (FERREIRA et al., 2011).

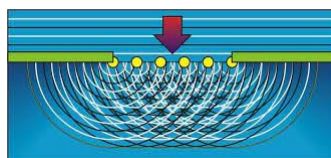
O experimento de Young consiste em incidir uma radiação em dupla fenda, a radiação atravessa uma primeira fenda sofrendo difração e posteriormente, duas fendas, projetando em uma tela de observação a formação de franjas claras e franjas escuras, sendo as franjas claras ponto de interferência construtiva e as franjas escuras interferência destrutiva, intercaladas entre si. Ao passar pelas fendas, como ilustra a Figura 14, a radiação difrata percorrendo caminhos diferentes até se encontrar em um determinado ponto P de um anteparo. Devido os raios da radiação pertencerem à mesma onda não ocorre mudança de fase, com o passar do tempo. Neste contexto, temos a formação da figura de interferência. Outrossim, devido a diferença de caminho percorrida pelos raios, eles podem chegar ao ponto P em concordância de fase, formando assim, a interferência construtiva ou franja clara, podendo também chegar em oposição de fase, dando origem a interferência destrutiva ou franja escura. Porém, se as radiações se originassem de fontes diferentes, a sua variação de fase no tempo impediria que o fenômeno de interferência mencionado anteriormente acontecesse (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012), (NUSSENZVEIG, 2014)

A difração é um fenômeno ondulatório que consiste no contorno da onda quando a mesma passa por um obstáculo, este, pode ser um objeto transparente ou opaco. Devido a obstrução da frente de onda, essa, ao realizar o contorno, muda sua amplitude ou fase sofrendo interferência. Neste aspecto, origina-se uma distribuição singular de densidade de energia denominada figura de difração. Apesar da difração sempre ocorrer, em situações em que o efeito difrativo pode ser desprezado, encontra-se o domínio da óptica geométrica – situação em que a luz se propaga em linha reta. Nesse domínio, há formação de sombra dos objetos, elucidando que o comprimento de onda da luz é inferior as dimensões do obstáculo (NEWTON, 2001)

Partindo deste preceito, voltaremos ao século XVII, data em que Christiaan Huygens propôs a seguinte teoria: a cada instante, uma frente de onda gera infinitas novas frentes de ondas chamadas "ondículas". Com isso, cada parte da frente de onda que contorna o orifício pode ser encarada como uma fonte secundária de ondas esféricas (BARBOSA et al., 2012)

Na Figura 10 é deslinhada a aplicabilidade do princípio de Huygens - Fresnel, permitindo o entendimento do fenômeno difrativo na fenda simples. Concluindo-se que, a luz sofre difração devido a existência da interferência.

Figura 10 – Princípio de Huygens-Fresnel



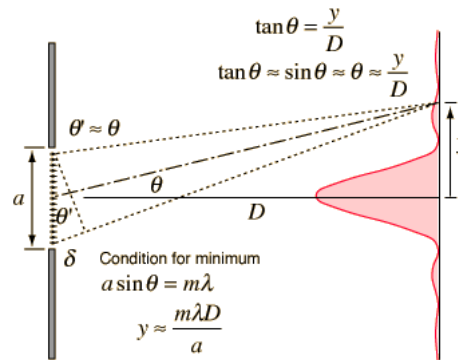
Fonte: (HUYGEN'S PRINCIPLE, 2022)

A figura de difração depende das condições de iluminação e de onde se observa a figura. Se o obstáculo é iluminado com ondas planas e a região onde observamos a difração está longe do obstáculo dizemos que temos difração de Fraunhofer. Em todos os outros casos dizemos que temos difração de Fresnel. Para a formulação matemática presente neste trabalho, será considerado apenas a Difração de Fraunhofer ou Difração de campo distante, propondo a condição que tanto a fonte quanto a tela de observação estejam muito distantes da fenda. No entanto, se a tela de observação estiver próxima à fenda, teremos a Difração de Fresnel ou Difração de campo próximo, e o tratamento matemático é muito mais complicado (FRAGNITO; COSTA, 2008).

## 3.2 Difração - fenda simples

Imagine que temos uma fenda de tamanho  $a$ . Quando temos a largura dessa fenda muito maior do que o comprimento de onda da luz incidente nela, a mesma não sofre muito espalhamento. Agora temos uma fenda de largura maior que o comprimento de onda, a luz irá se espalhar um pouco mais. Por último, quando a largura da fenda for aproximadamente igual ao comprimento de onda, visualizamos uma distribuição mais acentuada da luz na tela de observação. Essa distribuição da luz é o que chamamos de figura de difração. Perceba que na Figura 11 tem-se uma fenda de largura ( $a$ ) sendo atingida por uma onda luminosa de comprimento ( $\lambda$ ). Então, além da largura da fenda influenciar na figura de difração da luz, se colocarmos um anteparo, teremos mais do que um alargamento das frentes de onda, será necessário analisar a distância a qual esse anteparo se encontra da fenda para obter a consequência do efeito ondulatório da luz. Quando conseguimos ver todo o fenômeno ondulatório da luz (difração de Fraunhofer), temos uma figura bem característica sendo formada no anteparo.

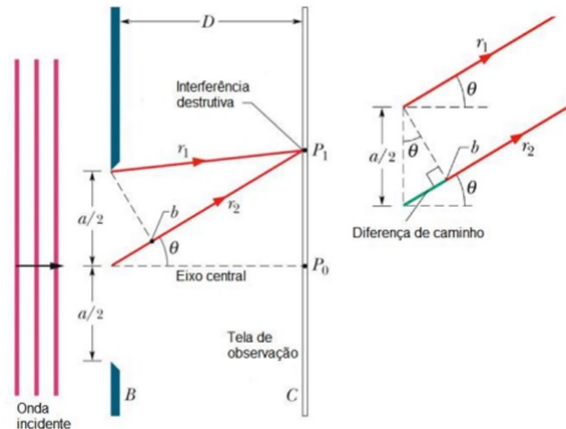
Figura 11 – Análise de difração fenda simples



Fonte: (HYPERPHYSICS, 2022)

Na Figura 12 tem-se uma fenda sendo atingida por uma onda plana. Vale lembrar que nas condições ilustradas, tanto a fonte de radiação quanto a tela de observação estão bem distantes da fenda.

Figura 12 – Interferência destrutiva dos raios  $r_1$  e  $r_2$  no ponto  $P_1$



Fonte: (KAPOOR, R. INTERFERENCE., 2022)

Na figura de difração pode-se determinar posição das franjas escuras. Para isso vamos tomar a diferença de caminho  $\Delta r$ , como sendo:

$$\Delta r = r_2 - r_1 = \frac{a}{2} \cdot \sin \theta \tag{3.1}$$

Como proposto na Figura 12 é possível encontrar a diferença de caminho entre  $r_2$  e  $r_1$ . Assim, podemos escrever que:

$$\frac{a}{2} \cdot \sin \theta = m \cdot \frac{\lambda}{2}$$

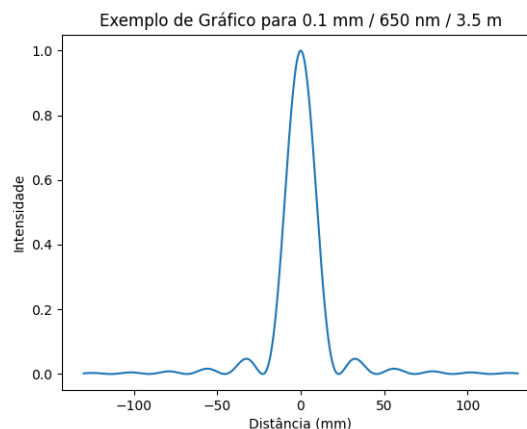
$$a \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda, \quad \text{para } m = 1, 2, 3, \dots \quad (3.2)$$

Para múltiplos inteiros do comprimento de onda encontramos a posição das franjas escuras na tela de observação. A franja escura representa a interferência destrutiva que é um mínimo de intensidade. Sendo assim a franja clara representa a interferência construtiva que é um máximo de intensidade. Elucidando o que fora representado, na Figura 12 tem-se uma fenda sendo atingida por uma onda plana.

Para entender qual a intensidade luminosa (energia da luz) em um determinado ponto  $P$ , precisamos entender o formato dessa intensidade. Nota-se que no meio ocorre um pico, ou seja, uma maior transmissão de energia sucedido por um mínimo de intensidade na franja escura e outro máximo, não tão intenso como no centro, e assim por diante (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). Analisando a equação 2.2, percebemos que, quanto menor for a largura  $a$  da fenda, mais distante do eixo central estará a primeira franja escura, ou seja, maior será o máximo central.

No entanto, a visualização da curva de intensidade luminosa exige um formalismo matemático muito complexo para os estudantes de ensino médio, portanto, para tornar o estudo matemático viável e ao mesmo tempo significativo, utilizaremos o algoritmo como propõem o produto educacional. A Figura 13 exemplifica a curva de intensidade luminosa obtida por meio do *software*, para largura da fenda de 0.1 mm, comprimento de onda de 650 nm e distância da fenda até a tela de observação igual a 3.5 m.

Figura 13 – Curva de intensidade luminosa fenda simples

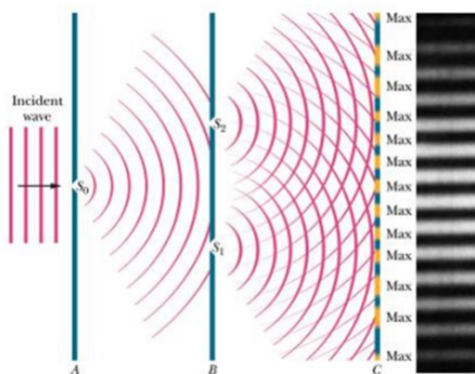


Fonte: O autor

### 3.3 Interferência - fenda dupla

Neste tópico vamos deduzir as equações de posição de franjas claras e franjas escuras referentes ao experimento da dupla fenda de Young. No entanto, a curva de intensidade luminosa será discutida por meio da interface gráfica gerada pela linguagem de programação como propõem o produto educacional. Neste caso consideraremos a largura das fendas muito estreitas em relação ao comprimento da radiação incidente ( $\lambda \gg a$ ). Mediante isso, as fendas  $S_1$  e  $S_2$  agem como fontes pontuais de luz, fazendo com que a figura de difração advinda de cada fenda abriguem toda a tela de observação com seus máximos centrais de energia luminosa. As ondas provenientes de cada uma das fendas interferem entre si originando uma distribuição de franjas claras e escuras com aproximadamente a mesma intensidade luminosa (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). A Figura 14 exibe uma representação desse experimento.

Figura 14 – Experimento dupla fenda de Young



Fonte: (KAPOOR, R. INTERFERENCE., 2022)

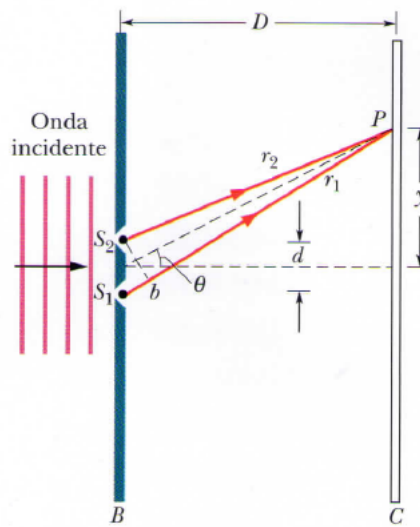
A Figura 15 ilustra uma onda plana atravessando um anteparo com duas fendas  $S_1$  e  $S_2$ . Quando a onda passa pela fenda ela vai sofrer difração seguida interferência, formando assim uma figura de interferência e/ou difração que resultará na formação de franjas claras alternadas com franjas escuras. Quando consideramos um ponto  $P$  na tela de observação, vamos notar uma onda saindo de cada fenda e se encontrando neste ponto. Ao traçar um raio  $r_1$  na primeira onda e um raio  $r_2$  formamos um ângulo  $\theta$  entre o eixo central das duas fendas até o ponto  $P$  e o mesmo eixo até a tela de observação horizontalmente. É interessante saber que a distância entre as duas fendas  $d$  tem que ser muito menor do que a distância entre a fenda e a tela de observação  $D$ , portando os dois raios podem ser considerados paralelos.

A diferença de caminho  $\Delta r$  é dada por:

$$r_1 - r_2 = d \cdot \sin \theta$$

$$\Delta r = d \cdot \sin \theta \quad (3.3)$$

Figura 15 – A interferência das ondas que saem das fendas  $S_1$  e  $S_2$  é causada pela mudança na diferença de fase devido à diferença de caminho  $r_1 - r_2$ .



Fonte: (KAPOOR, R. INTERFERENCE., 2022)

Quando reparamos em  $r_1$  que sai da fenda  $S_1$  e  $r_2$  partindo da fenda  $S_2$ , temos uma diferença de caminho. Se essa diferença for um número inteiro ( $m$ ) do comprimento de onda, no ponto  $P$  vai dar um pico de intensidade (franja clara).

Assim, temos:

$$\Delta r = m \cdot \lambda \tag{3.4}$$

$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \quad \text{para } m = 0, 1, 2, 3, \dots \tag{3.5}$$

Agora se a diferença de caminho  $\Delta r$  resultar em um comprimento de onda em número decimal, no ponto  $P$  ocorre um mínimo de intensidade (franja escura). Nesse aspecto, representamos a diferença de caminho  $\Delta r$  por:

$$\Delta r = m \cdot \lambda + \frac{\lambda}{2} \tag{3.6}$$

Igualando as equações 2.3 e 2.6, temos:

$$d \cdot \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad \text{para } m = 0, 1, 2, 3, \dots \tag{3.7}$$

Sendo assim, para  $m = 0$  na equação 2.5, se formará uma franja clara em  $\theta = 0$ , maior intensidade. E conforme forem mudando os valores da diferença de caminho, sendo que, estes devem ser números inteiros, vão se encontrando os valores de  $\theta$  das próximas franjas claras.

Porém, para equação 2.7 notemos que para  $m = 0$ , encontraremos os valores de  $\theta$  para franjas escuras.

Observe que, na Figura 15 é possível obter a equação da distância de qualquer franja clara em relação ao eixo central (equação 2.11). Assim,

$$y_m = D \cdot \tan \theta \quad (3.8)$$

no entanto, para que as ondas incidentes sejam planas é necessário que a tela de observação esteja muito distante da fenda, com isso o ângulo  $\theta$  é muito pequeno, podendo assim realizar a seguinte aproximação:

$$\tan \theta = \sin \theta \approx \theta$$

portanto, a equação 2.8, pode escrita da seguinte forma:

$$y_m = D \cdot \sin \theta \quad (3.9)$$

No entanto, por meio da equação 2.5, temos que:

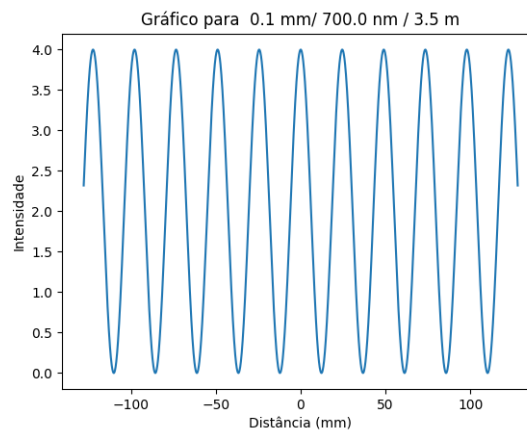
$$\sin \theta = \frac{m \cdot \lambda}{d} \quad (3.10)$$

Por fim, substituindo a equação 2.10 na equação 2.9, temos:

$$y_m = D \cdot \frac{m \cdot \lambda}{d} \quad (3.11)$$

A curva de intensidade luminosa formada neste caso foi adquirida por meio da aplicação do algoritmo proposto pelo produto educacional. O padrão de interferência formado neste caso, está mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Padrão de interferência da luz por fenda dupla



Fonte: O autor

### 3.4 Difração - fenda dupla

Na seção 3.3 analisamos a interferência que a luz sofre ao atravessar um obstáculo com duas fendas. Contudo, a largura dessas fendas era muito pequena originando na tela de observação uma distribuição de mesma energia luminosa, conseqüentemente vão se formar franjas de praticamente mesma intensidade luminosa. Todavia, experimentalmente ocorre uma inconsistência, já que na maioria dos casos práticos existe um cenário onde as fendas tem larguras maiores. Ainda nesse mesmo leque, se duas fendas de largura  $a$  estiverem em uma distância  $d$  uma da outra vamos ter o evento de sobreposição de um efeito no outro -interferência sobre a difração de cada fenda. Esse fenômeno faz com que haja uma fragmentação de intensidade, originando uma interferência de dupla fenda controlada pela difração em fenda única (NEWTON, 2001). A distribuição de intensidade luminosa para a difração dupla fenda segue a seguinte função:

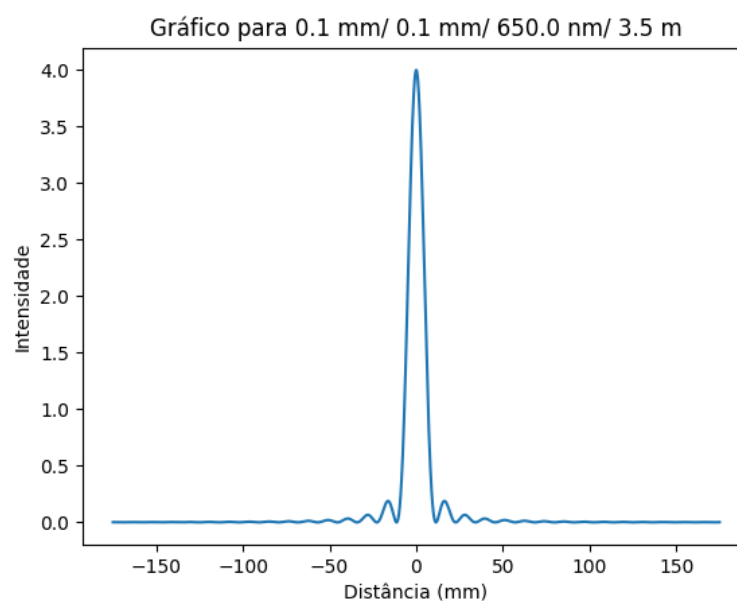
$$I(\theta) = \left(4 \cdot I_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{\alpha}{2}}\right)^2 \quad (3.12)$$

em que:

$$\varphi = k \cdot d \cdot \sin \theta \quad e \quad \alpha = k \cdot a \cdot \sin \theta$$

A curva de intensidade luminosa formada neste caso foi adquirida por meio da aplicação do algoritmo proposto pelo produto educacional. O padrão de difração formado neste caso, está mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Padrão de difração da luz por fenda dupla



Fonte: O autor

# 4

## Metodologia de aplicação

### 4.1 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e as TDICs

Os recursos tecnológicos, em especial, os da informática, podem auxiliar significativamente os professores, principalmente, os que ministram as disciplinas relacionadas a ciências da natureza, como Física, Química e Biologia (FERNANDES; RODRIGUES; FERREIRA, 2015). Nesse contexto, as tecnologias digitais da informação e comunicação, também conhecidas por TDICs, têm alterado nossa forma de trabalhar, de se comunicar, de se relacionar e de aprender. Portanto, o desenvolvimento deste trabalho pode colaborar satisfatoriamente na prática do ensino da Física na Educação Básica.

No entanto, com o intuito de produzir um produto educacional que seja potencialmente significativo, será desenvolvida uma sequência didática baseada na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. O objetivo dessa conduta é indicar ao professor mediador do ensino os subsunçores necessários que o aluno deve ter antes que aplicação do produto seja efetuada.

Seguindo o mesmo enredo, vamos falar sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), descrita pelo psicólogo e médico David P. Ausubel (1918-2008). A TAS tem como objetivo a soma, ou seja, no momento da aprendizagem em sala de aula, pode-se formar uma trílice aliança semelhante a Europeia, outrossim, ao invés de fins econômicos, busca-se-á a tríade conhecimento-hierarquia-aprendizado. Associando assim, o que o aluno já trás consigo (conhecimento hierarquizado) ao que ele ainda irá adquirir. Ausubel defendia o despertar do acervo guardado na mente, nesse contexto vemos a importância do aprendizado em sala de aula atrelado a novas tecnologias. O docente poderá estimular o resgate de informações em "stand by" por meio do despertar informacional que a internet proporciona. A seguir, a sequência didática deste trabalho será edificada nos trilhos da teoria elucidada acima (SILVA; SCHIRLO, 2014).

Nesse aspecto, a sequência didática deve proporcionar as condições de aprendizagem significativa, ou seja, materiais como livros, revistas, aulas, vídeos entre outros, deverão fazer sentido lógico para o aluno. O valor lógico do material de aprendizagem deve estar relacionado de forma não-arbitrária e não-literal ao alcance de uma estrutura cognitiva apropriada para que o subsunçor seja relevante. Além disso, o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender, ou seja, o aluno deve desejar fazer a relação dos novos conhecimentos, de maneira não-arbitrária e não-literal, a seus conhecimentos prévios (MOREIRA, 2019).

A aprendizagem significativa contempla 3 tipos e 3 formas; aprendizagem representacional, conceitual e proposicional e aprendizagem na forma de subordinação, superordenação ou combinação (MOREIRA, 2019). Nesse contexto, a sequência didática desenvolvida está atrelada aos dois tipos de aprendizagem, porém, de forma geral, é proporcionar ao aprendiz, de forma subordinada, a ponte cognitiva necessária para que nova informação oriunda do produto educacional seja absorvida pelo estudante, tornando o material instrucional potencialmente significativo.

## 4.2 Sequência Didática

Para proporcionar ao estudante conhecimento prévio, ou seja, subsunçores, segue uma sequência didática que o professor deve seguir para posteriormente aplicar o produto educacional apresentando neste trabalho.

### 1. Introdução a ondulatória: 2 horas-aula

Com o objetivo de utilizar como organizador prévio e fazer com que os conteúdos de interferência e difração estudados no âmbito mais contemporâneo proposto neste trabalho fossem mais significativos para os alunos, nesta aula foi apresentado aos estudantes a natureza das ondas, mecânicas e eletromagnéticas, com ênfase nas ondas eletromagnéticas e as grandezas associadas a uma onda, como velocidade, comprimento de onda, frequência e amplitude mostrando ao aluno a relação do comprimento de onda com a frequência da onda. Nesse contexto, é muito importante explicar ao aluno, que para o mesmo meio de propagação, a frequência diminui com o aumento do comprimento de onda para ondas distintas que viajam à mesma velocidade.

O professor, nessas aulas pode utilizar o livro adotado pela escola ou elaborar o material de maneira que seja conveniente a sua rotina de trabalho.

### 2. Dualidade da luz: 2 horas-aulas

#### **Aula 01 - Dualidade da luz**

Nesta aula deve ser discutido o comportamento ondulatório e corpuscular da luz, com o objetivo de promover um pensamento mais contemporâneo da óptica ondulatória. Para otimizar o ensino foi disponibilizado para os alunos por meio do YouTube (FÍSICA

UNIVERSITÁRIA, 2016) dois vídeos relatando experimentos simples que denunciavam o comportamento dual da luz.

### **Aula 02 - Difração e interferência**

Após a discussão da dualidade da luz, o professor poderá focar nos conceitos de difração e interferência abordados no capítulo 03 deste trabalho. Essa ação proporcionará um subsunçor fundamental para que o aluno obtenha a carga cognitiva necessária para associar o conteúdo da Física como os experimentos de difração e interferência.

### 3. Oficina de gráficos em Python: 3 horas-aulas

Por mais que essa geração esteja em pleno contato com as tecnologias digitais, tal conhecimento prévio é arbitrário para o proposto no produto educacional. Portanto, o professor deve utilizar esse momento para criar um organizador prévio não-arbitrário e não-literal como propõe a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Como essa etapa contempla 3 aulas, o professor pode dividir da seguinte forma:

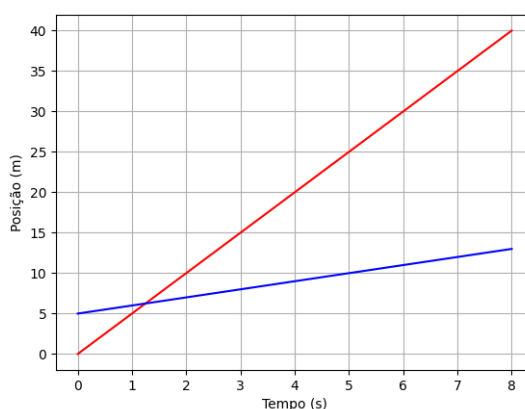
#### **Aula 01 - Instalação do Python e do Jupyter Notebook.**

Para realizar essa aula o professor deve recorrer ao capítulo 02 desse trabalho. Assim, o docente e os alunos poderão realizar a instalação das ferramentas computacionais.

#### **Aula 02 - Gráfico para função de movimento uniforme**

Para realizar essa aula o professor deve inserir o código disponível no apêndice B deste trabalho no ambiente de programação Jupyter Notebook e compilar. A Figura 18 ilustra o gráfico gerado.

Figura 18 – Gráfico para função de movimento uniforme



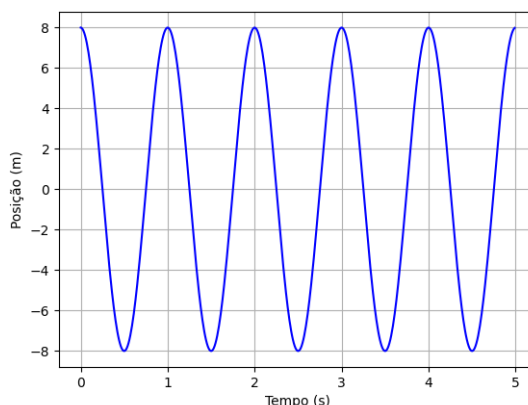
Fonte: O autor

#### **Aula 03 - Gráfico de função periódica**

Para realizar essa aula o professor deve copiar o código disponível no apêndice B deste trabalho e colar no ambiente de programação Jupyter Notebook e compilar. A Figura 19

ilustra o gráfico gerado.

Figura 19 – Gráfico de função periódica



Fonte: O autor

O objetivo dessa etapa, além do que já foi proposto, é a inserção da linguagem de programação Python, no ambiente de programação Jupyter Notebook, apresentando aos alunos a importância da ferramenta educacional no que se diz respeito a aplicação da tecnologia no Ensino da Física. Uma das formas de alcançar tal objetivo, foi proporcionar aos alunos o contato prático com a ferramenta, onde eles puderam executar o desenvolvimento dos gráficos ilustrados.

Após finalizar a sequência didática será utilizado 2 horas-aula para aplicação do produto educacional. Com tudo, é importante lembrar que o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa de novos conhecimentos não significa dizer que é sempre uma variável facilitadora. Normalmente sim, mas pode em alguns casos ser bloqueadora (MOREIRA, 2019).

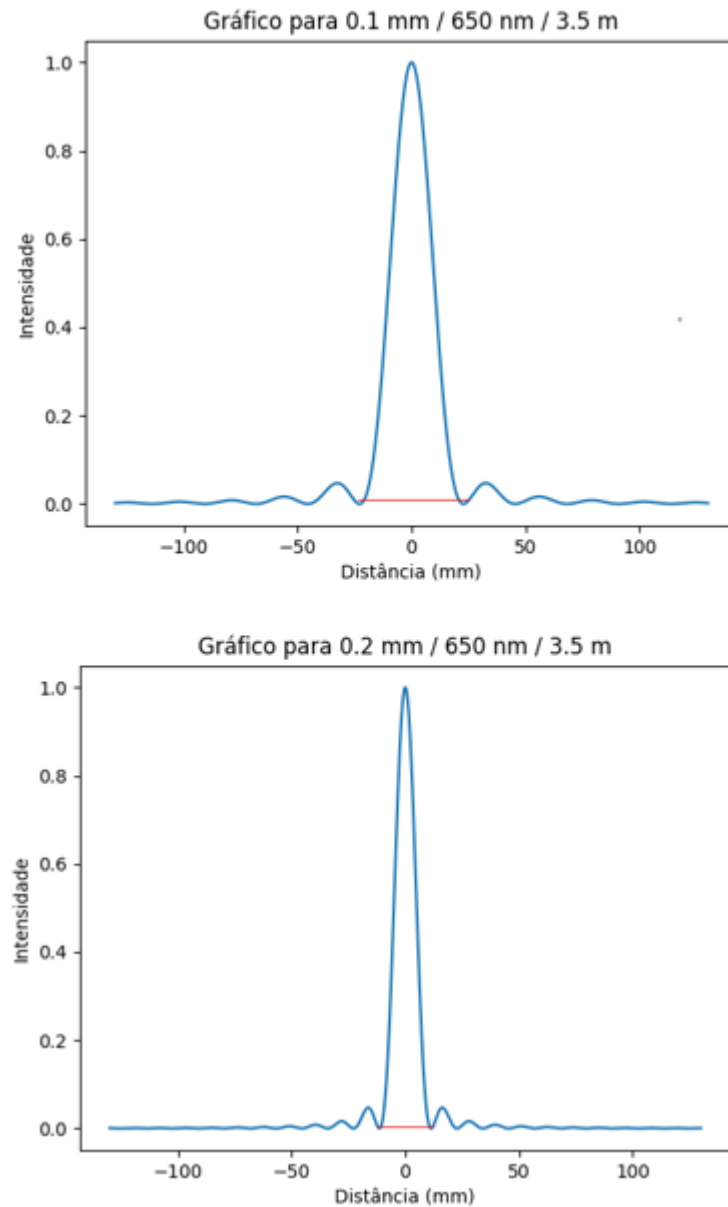
### 4.3 Executando o software

O Algoritmo de interface gráfica desenvolvido em Python deve ser compilado no ambiente Jupyter, ou seja, os códigos devem ser inseridos e executados no Jupyter Notebook. Após inserir os códigos no Jupyter e executar, é possível determinar a largura da fenda, a distância entre as fendas e o comprimento de onda da radiação incidente.

É interessante gerar varias interfaces gráficas modificando os parâmetros físicos para que o aluno visualize as alterações na curva de intensidade luminosa. Como por exemplo, o que acontece com a largura do máximo central na curva de intensidade luminosa caso a largura da

fenda  $a$  seja reduzida. Tal medida possibilita uma discussão dinâmica entre o professor e o aluno no que diz respeito os fenômenos de difração e interferência da luz. A Figura 20 ilustra a curva de intensidade luminosa para dois experimentos com larguras das fendas 0.1 mm e 0.2 mm.

Figura 20 – Comparação entre as curvas de intensidade



Fonte: O autor

Por meio da comparação entre as curvas de intensidade é possível que o aluno perceba que o aumento da largura da fenda, reduz o comprimento do máximo central, ou seja, quanto menor for a largura ( $a$ ) da fenda em relação ao comprimento de onda ( $\lambda$ ) da radiação incidente maior será a largura do máximo central na curva de intensidade luminosa.

Outros aspectos relevantes são: a possibilidade de utilizar fendas de dimensões bem

pequenas, que experimentalmente não seria viáveis; a flexibilidade da escolha do comprimento de onda da radiação incidente ( $400nm \leq \lambda \leq 700nm$ ); por se tratar de uma TDICs, promove ao professor explorar o tema em ocasiões que os recursos experimentais são limitados; e por fim, o professor que possui alguma habilidade com programação pode alterar os códigos caso seja necessário.

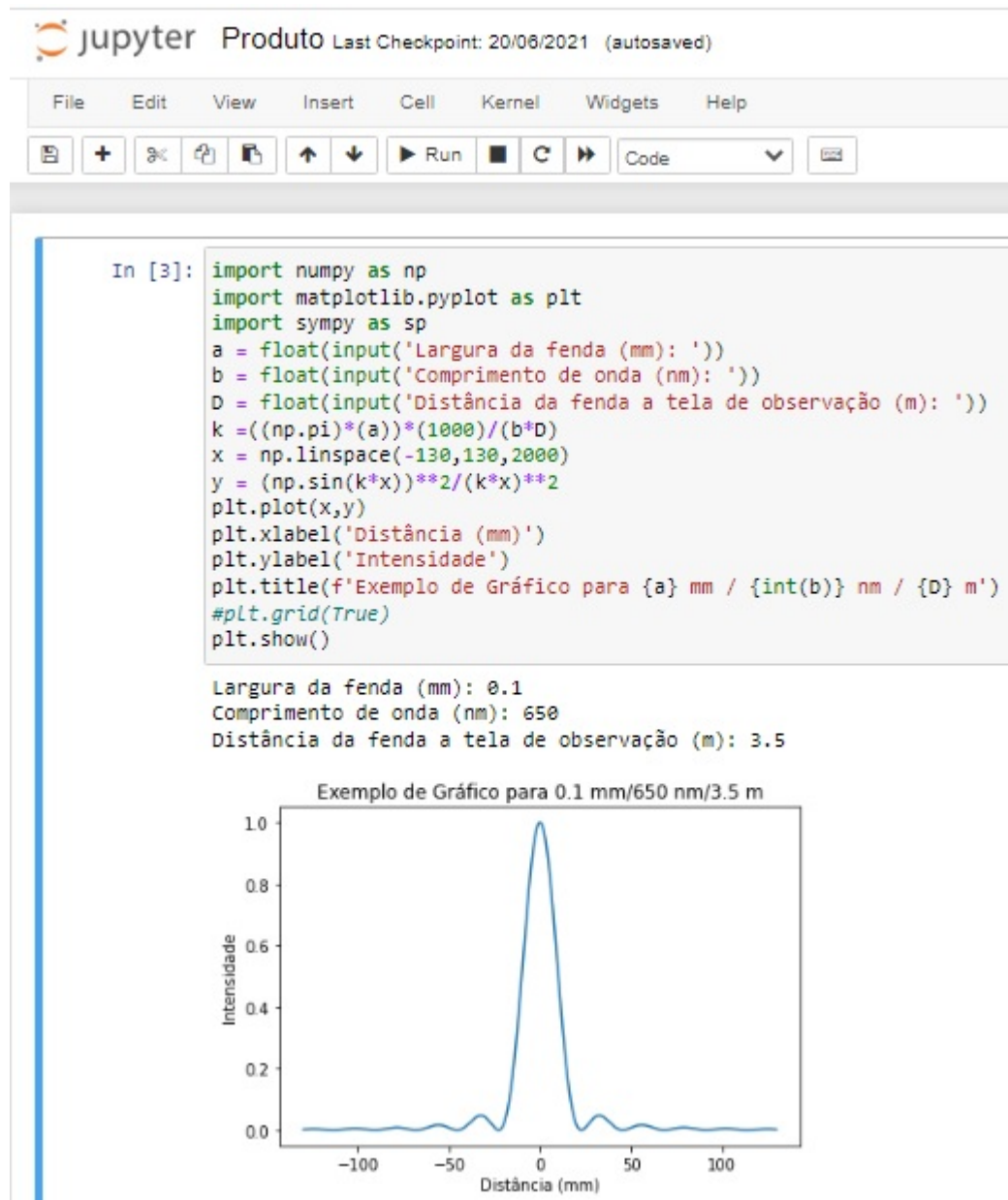
Manipular o tamanho da fenda e comparar a largura do máximo de intensidade, assim como conectar esse resultado com o que é dito na teoria, permite ao estudante tomar consciência, via experimentação, do fenômeno em si e auxiliar ao professor a mesma coisa, possibilitando a formação docente contínua e vinculada ao ensino.

No momento da execução o usuário poderá escolher a largura da fenda, o comprimento de onda da radiação incidente e a distância da fenda até a tela de observação. Vale lembrar que no momento da escolha deve levar em consideração condição de difração de campo distante mencionado no Capítulo 2.

Após ter realizado a instalação do Python e do Jupyter Notebook no computador, abra o ambiente Jupyter e insira nas linhas de comando os códigos referente aos experimentos dispostos no Apêndice B deste trabalho. Veja a Figura 21.

Após a realização da sequência didática e a execução do software é interessante que o professor elabore uma atividade que possa servir como parâmetro de medição de aprendizagem. Tal atividade pode ser um relatório ou um questionário. Neste trabalho foi aplicado um questionário que se encontra nos apêndices.

Figura 21 – Compilação do algoritmo no ambiente Jupyter Notebook



Fonte: O autor

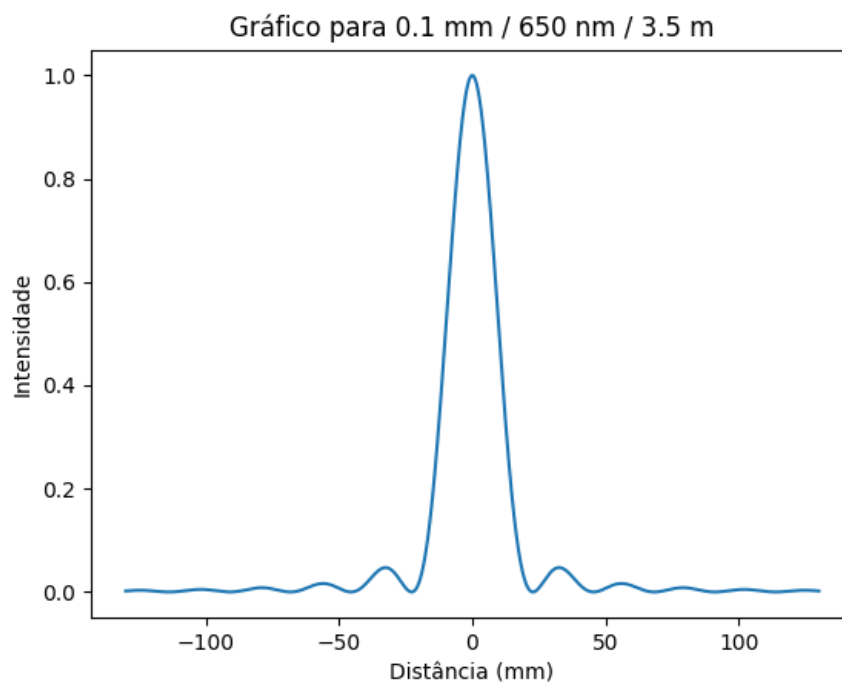
# 5

## Interfaces geradas pelo software

### 5.1 Fenda simples

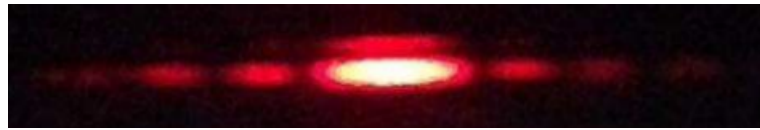
Foram utilizadas três fendas simples de larguras crescentes: 0,1 mm, 0,2 mm e 0,3 mm para mimetizar o experimento de difração desfrutando do software. Para a efetivação de cada teste o comprimento de onda e a distância do anteparo até a tela de observação fora o mesmo, 650 nm e 3,5 m.

Figura 22 – Gráfico de simulação do experimento com fenda simples de largura 0,1 mm.



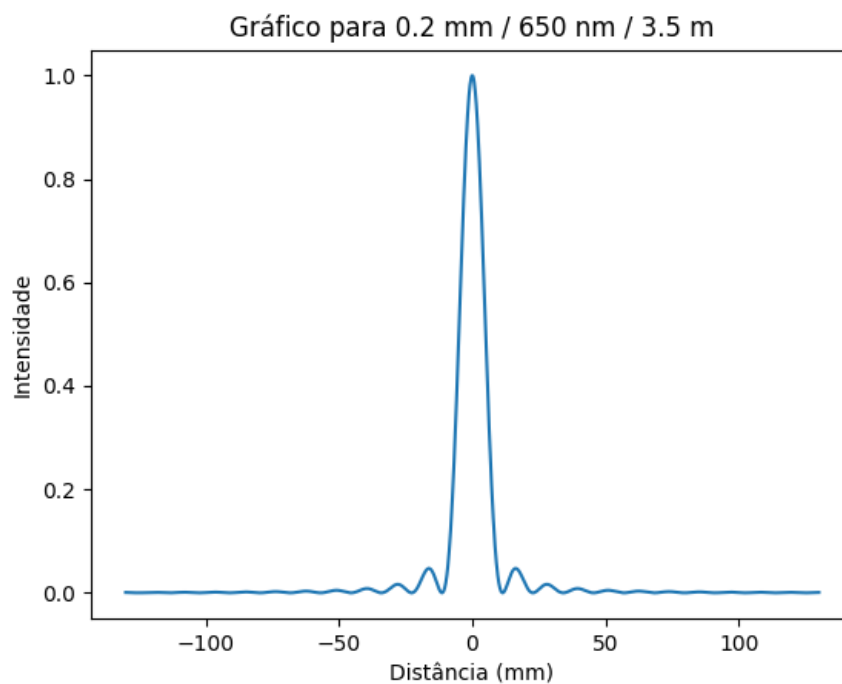
Fonte: O autor

Figura 23 – Padrão de difração gerado em experimento com fenda simples de largura 0,1 mm.



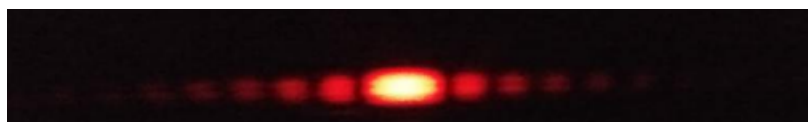
Fonte: (RÔXO, 2019)

Figura 24 – Gráfico de simulação do experimento com fenda simples de largura 0,2 mm.



Fonte: O autor

Figura 25 – Padrão de difração gerado em experimento com fenda simples de largura 0,2 mm.

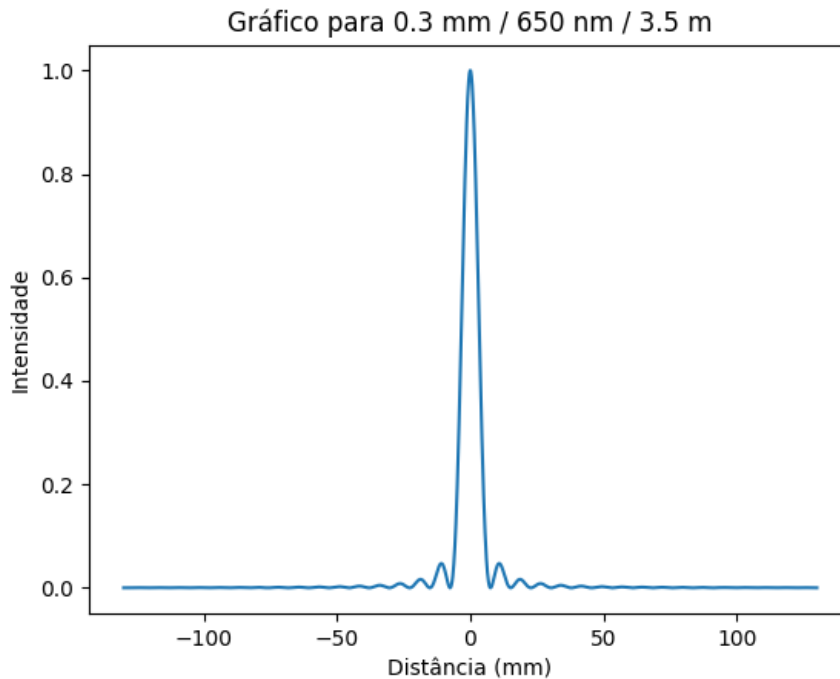


Fonte: (RÔXO, 2019)

Todos os resultados obtidos no experimento de difração com (RÔXO, 2019) ficaram em equidade aos descritos neste trabalho, os quais foram retirados de várias literaturas. Já as representações gráficas arquitetadas pelo *software* também se mostraram corretas quando comparadas a outros trabalhos focados neste tema (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012),

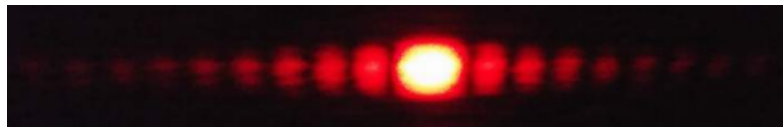
(NUSSENZVEIG, 2014). Por fim, foi possível ver a desenvoltura do gráfico demonstrando os pontos de máxima e mínima intensidade representando as franjas claras e escuras.

Figura 26 – Gráfico de simulação do experimento com fenda simples de largura 0,3 mm.



Fonte: O autor

Figura 27 – Padrão de difração gerado em experimento com fenda simples de largura 0,3 mm.

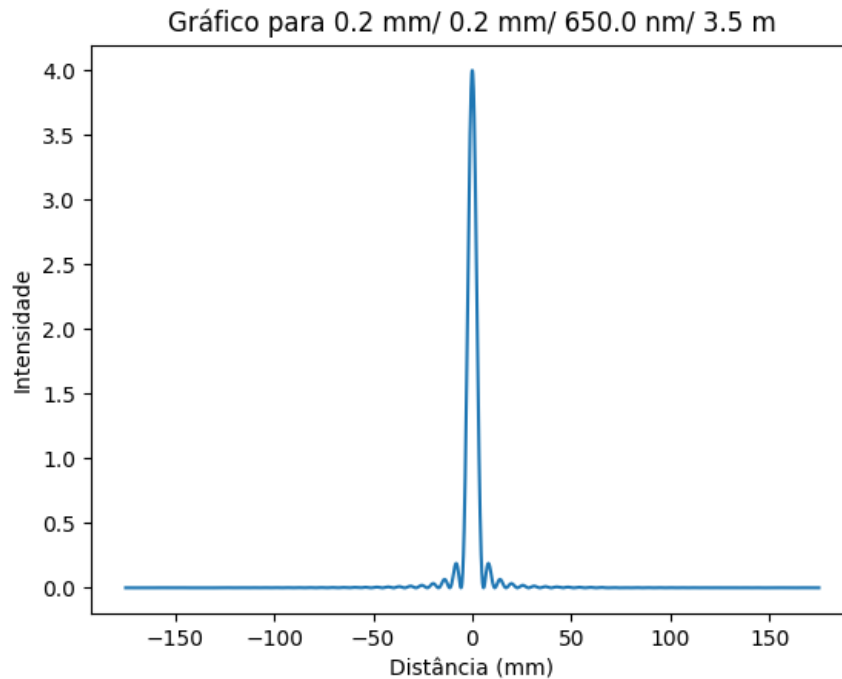


Fonte: (RÔXO, 2019)

## 5.2 Fenda dupla

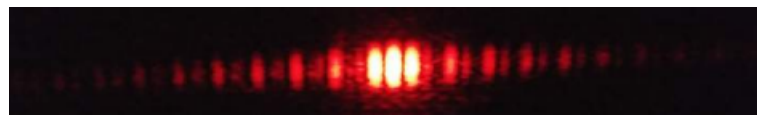
Quando falamos em fenda dupla também foram realizadas mimetizações da difração por meio do software, dessa vez utilizando dois pares em que suas larguras  $a$  eram respectivamente 0,2 mm. As mesmas se encontravam distantes  $d$  umas das outras nesta ordem: 0,2 e 0,4 mm. Já o comprimento de onda e a distancia das fendas até a tela de observação foram os mesmos da simulação anterior (650 nm e 3,5 m).

Figura 28 – Gráfico de simulação do experimento com fenda dupla de largura 0,2 mm e distância 0,2 mm entre elas.



Fonte: O autor

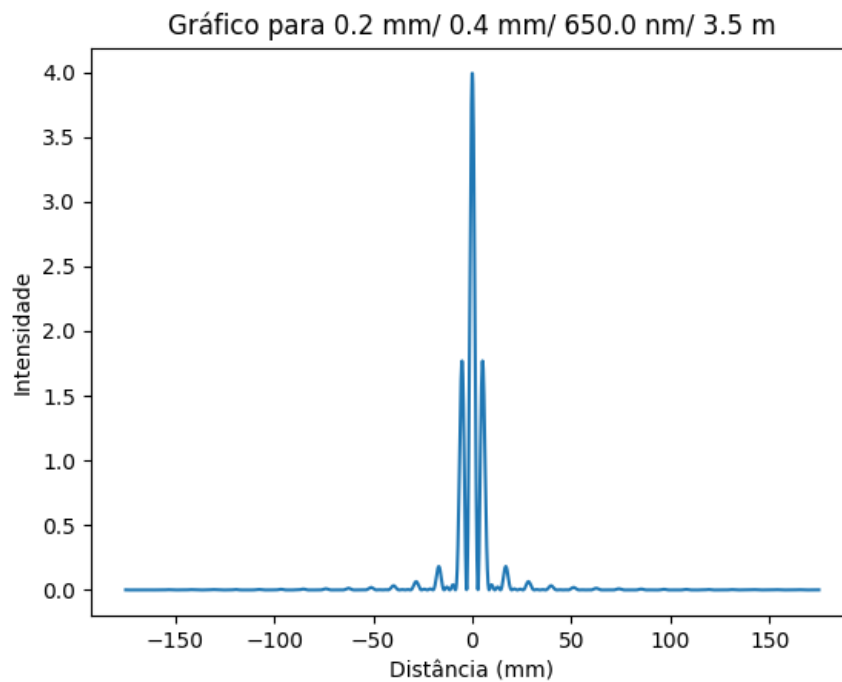
Figura 29 – Padrão de difração gerado em experimento com duas fendas de largura 0,2 mm e distância de 0,2 mm entre elas



Fonte: (RÔXO, 2019)

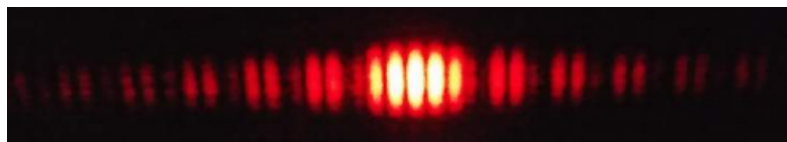
Os padrões de difração produzidos experimentalmente por (RÔXO, 2019) e os respectivos gráficos gerados via *software* estão em concordância com os encontrados na literatura (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012), (NUSSENZVEIG, 2014) como mostrado no referencial teórico, principalmente no que diz respeito à posição dos pontos de máximo e mínimo intensidade.

Figura 30 – Gráfico de simulação do experimento com fenda dupla de largura 0,2 mm e distância 0,4 mm entre elas.



Fonte: O autor

Figura 31 – Padrão de difração gerado em experimento com duas fendas de largura 0,2 mm e distância de 0,4 mm entre elas



Fonte: (RÔXO, 2019)

# 6

## Considerações Finais

Este trabalho tem como finalidade a utilização de uma ferramenta tecnológica de desenvolvimento de interfaces gráficas para os experimentos de difração e interferência, integrando o Ensino da Física por meio de uma linguagem de programação gratuita (Python) atrelada a um ambiente de programação dinâmico Jupyter Notebook. O presente tema é muito pouco explorado por parte dos professores no meio escolar, pois se trata de algo contemporâneo e de uma habilidade matemática mais complexa.

Nesse aspecto, o produto educacional facilita a inserção do conteúdo de óptica ondulatória no Ensino Médio, principalmente em ocasiões que os recursos experimentais são limitados. O Software desenvolvido permite que os experimentos sejam simulados quantas vezes for necessário, alterando os parâmetros experimentais que se deseja, como largura da fenda e comprimento de onda da radiação incidente. Com isso, os estudantes vão sair de um ensino decoreba, para um ensino de observação e discussão de resultados.

Não é o foco do trabalho, porém, outra observação que pode ser levantada, seria despertar no professor o interesse de utilizar as TDICs em suas aulas, proporcionando um ensino mais inovador e mais próximo da realidade dos alunos. Nesse sentido, o trabalho pode agir como intermediador e incentivador da busca de capacitação do profissional.

O produto educacional coloca o aluno em contato com o poder que a programação tem de resolver certos problemas. Nesse contexto, a curiosidade gerada no estudante pode ser incisiva na escolha de uma carreira profissional, como o curso de Tecnologia da Informação e Comunicação.

Espera-se que este trabalho contribua para as discussões a cerca da inserção das tecnologias digitais da informação e comunicação no Ensino de Física, que seja mais uma opção de recurso didático com qualidade e baixo custo. Acreditamos que nesse novo cenário da educação, durante e pós pandemia, o desenvolvimento de produtos educacionais desta natureza seja cada vez mais viável.

# Referências

- BARBOSA, V. C. et al. Uma visualização do princípio de Huygens-Fresnel na obtenção de um padrão de difração. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 34, n. 3, p. 1–5, 2012. Citado na página 16.
- DEMINGOS, P. G. Chemstruct: um pacote em Python para análise estrutural de sistemas atômicos e auxílio em simulações de dinâmica molecular. 2019. Citado na página 9.
- FERNANDES, G.; RODRIGUES, A.; FERREIRA, C. Módulos temáticos virtuais: uma proposta pedagógica para o ensino de ciências e o uso das TICs. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 3, p. 934–962, 2015. Citado na página 23.
- FERREIRA, Q. d. S. et al. Difração de luz com momento angular orbital por uma fenda. Universidade Federal de Alagoas, 2011. Citado na página 15.
- FRAGNITO, H. L.; COSTA, A. C. *Difração da luz por fendas*. [S.l.]: Unicamp-IFGW, 2008. Citado na página 16.
- FÍSICA UNIVERSITÁRIA. *Luz | Experimentos - Efeito fotoelétrico e Figuras de difração*. 2016. Disponível em: <<https://youtu.be/VVka6Mp5vyA>>, <<https://youtu.be/DYYGFb36IvE>>. Acesso em: 26 de maio 2022. Citado na página 25.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física, v. 4 Óptica e Física Moderna*. [S.l.]: Livro Técnico e Científico Editora SA, Rio de Janeiro, 2012. Citado 6 vezes nas páginas 14, 15, 18, 19, 31 e 33.
- HEWITT, P. *Física Conceitual-12*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015. Citado na página 14.
- HUYGEN'S PRINCIPLE. *Ray-tracing Interference and Diffraction*. 2022. Disponível em: <<http://www.ipodphysics.com/huygen-principle.php>>. Acesso em: 16 de maio 2022. Citado na página 16.
- HYPHERPHYSICS. 2022. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>>. Acesso em: 16 de maio 2022. Citado na página 17.
- IPV7. 2022. Disponível em: <<https://www.blog.ipv7.com.br/tecnica/interferencias-cabos-fibras-opticas/>>. Acesso em: 31 de maio 2022. Citado na página 15.
- JUPYTER NOTEBOOK. *Jupyter Notebook: Exemplos de Códigos e Como Usar*. 2022. Disponível em: <<https://www.alura.com.br/artigos/conhecendo-o-jupyter-notebook>>. Acesso em: 15 de maio 2022. Citado na página 11.
- KAPOOR, R. INTERFERENCE. *General Physics*. 2022. Disponível em: <<http://www.rakeshkapoor.us/ClassNotes/classnotes.php?notes=Interferenceindex=2>>. Acesso em: 16 de maio 2022. Citado 3 vezes nas páginas 17, 19 e 20.
- MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? 2010. *Instituto de Física–UFRGS*. Disponível em: Acesso em, v. 2, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

NEWTON, H. Gualter. tópicos de física 2. São Paulo. Editora Saraiva, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 22.

NUSSENZVEIG, H. *Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4)*. BLUCHER, 2014. ISBN 9788521208044. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=utSsDwAAQBAJ>>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 32 e 33.

PROJECT JUPYTER. *As origens e a governança do Projeto Jupyter*. 2022. Disponível em: <<https://jupyter.org/about>>. Acesso em: 15 de maio 2022. Citado na página 11.

PYSCIENCE BRASIL. *Python: O que é? Por que usar?* 2022. Disponível em: <<http://pyscience-brasil.wikidot.com/python:python-oq-e-pq>>. Acesso em: 15 de maio 2022. Citado na página 8.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *What is Python? Executive Summary*. 2022. Disponível em: <<https://www.python.org/doc/essays/blurb/>>. Acesso em: 15 de maio 2022. Citado na página 8.

RÔXO, M. D. S. Ensino de óptica ondulatória com experimentos de aquisição automática de dados via microcontrolador arduino, com python. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 31, 32, 33 e 34.

SILVA, S. de Carvalho Rutz da; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de ausubel: Reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social. *Imagens da Educação*, v. 4, n. 1, 2014. Citado na página 23.

SOUSA, W. B. de; PIETROCOLA, M.; UETA, N. *Física das Radiações: uma proposta para o Ensino Médio*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2007. Citado na página 14.

# **Apêndices**

# APÊNDICE

# A

## CÓDIGOS PARA OFICINA DE GRÁFICOS EM PYTHON

### A.1 Uma partícula em movimento uniforme

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 #Uma partícula A se movimenta obedecendo a seguinte função
4 t = np.arange(0,9,1)
5 x = 5*t
6 #Uma partícula B se movimenta obedecendo a seguinte função
7 t = np.arange(0,9,1)
8 y = 5 + t
9 plt.plot(t,x,'r')
10 plt.plot(t,y,'b')
11 plt.xlabel('Tempo (s)')
12 plt.ylabel('Posição (m)')
13 #plt.title('Gráfico de Posição x Tempo')
14 plt.grid(True)
15 plt.show()
```

### A.2 Uma partícula em movimento oscilatório

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 # Uma partícula move-se ao longo de um eixo Ox, obedecendo a função
4 t = np.arange(0,5,0.01)
5 x = 8*np.cos(np.pi*2*t)
6 plt.plot(t,x,'b')
7 plt.xlabel('Tempo (s)')
8 plt.ylabel('Posição (m)')
9 plt.grid(True)
10 plt.show()
```

# APÊNDICE

# B

## ALGORITMO DE EXECUÇÃO DO SOFTWARE

### B.1 Difração fenda simples

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import sympy as sp
4 a = float(input('Largura da fenda (mm): '))
5 b = float(input('Comprimento de onda (nm): '))
6 D = float(input('Distancia da fenda a tela de observacao (m): '))
7 k = ((np.pi)*(a))*(1000)/(b*D)
8 x = np.linspace(-130,130,2000)
9 y = (np.sin(k*x))**2/(k*x)**2
10 plt.plot(x,y)
11 plt.xlabel('Distancia (mm)')
12 plt.ylabel('Intensidade')
13 plt.title(f'Grafico para {a} mm / {int(b)} nm / {D} m')
14 #plt.grid(True)
15 plt.show()

```

### B.2 Difração fenda dupla

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 import numpy as np
3 a = float(input('Largura da fenda (mm): '))
4 b = float(input('Comprimento de onda (nm): '))
5 D = float(input('Distancia da fenda a tela de observacao (m): '))
6 d = float(input('Distancia entre as fendas (mm): '))
7 k = ((np.pi)*(a))*(1000)/(b*D)
8 C = ((np.pi)*(2*d))*(1000)/(b*D)
9 x = np.linspace(-175,175,2000)
10 y = (4*((np.cos(C*x/2))**2))*(np.sin(k*x))**2/(k*x)**2

```

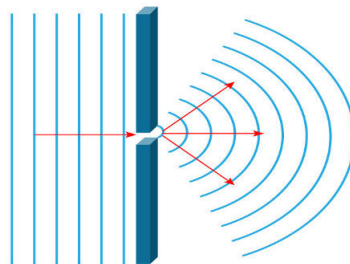
```
11 plt.plot(x,y)
12 plt.xlabel('Distancia (mm)')
13 plt.ylabel('Intensidade')
14 plt.title(f'Grafico para {a} mm/ {d} mm/ {b} nm/ {D} m')
15 #plt.grid(True)
16 plt.show()
```

# APÊNDICE

# C

## QUESTIONÁRIO DE VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM

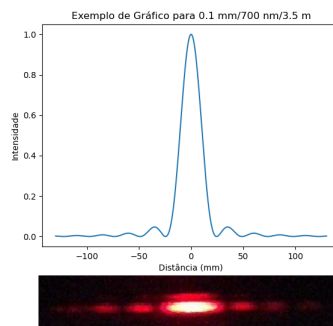
1. Explique o termo dualidade da luz.
2. As ondas são perturbações que se propagam pelo espaço sem transporte de matéria, apenas de energia. Com relação a natureza da luz assinale a opção correta.
  - ( ) A luz é uma onda mecânica, portanto necessita de um meio material para se propagar.
  - ( ) A luz não tem natureza ondulatória, pois se propaga em linha reta.
  - ( ) A luz é uma onda eletromagnética, e se propaga no vácuo com velocidade de 300000 km/s.
3. Qual dos fenômenos abaixo comprovam a natureza ondulatória da luz?
  - ( ) Reflexão
  - ( ) Refração
  - ( ) Dispersão
  - ( ) Difração e interferência
4. Qual fenômeno ondulatório ilustra a figura abaixo.



- ( ) Reflexão
- ( ) Refração
- ( ) Difração

5. A imagem ilustra a figura de difração e ou interferência projetada em uma tela de observação quando uma luz monocromática vermelha incide sobre uma fenda de largura 0,1 mm. Já o gráfico representa a distribuição da intensidade luminosa. Se aumentarmos a largura da fenda o comprimento do máximo central,

a) aumentaria, pois a relação do comprimento de onda da luz incidente e a largura da



fenda é um fator a ser considerado, mostrando que, quanto maior a largura da fenda maior será o comprimento da intensidade máxima central.

b) permaneceria o mesmo, pois a relação do comprimento de onda da luz incidente não precisa ser considerado.

c) reduziria, pois a relação do comprimento de onda da luz incidente e a largura da fenda deve ser considerado, mostrando que, quanto maior a fenda menor o comprimento do máximo central.

6. Os gráficos abaixo representam as curvas de intensidade luminosa para luz monocromática vermelha (700 nm) e azul (400 nm), ambos incidindo em uma fenda de mesma largura 0.1 mm.

Explique por que a largura do máximo central no curva de intensidade luminosa azul é menor.

